



Blygsamt övertryck fick spektakulära följder

Hedlund, Frank Huess

Published in:
Kemivärlden Biotech med Kemisk Tidsskrift

Publication date:
2017

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Hedlund, F. H. (2017). Blygsamt övertryck fick spektakulära följder. *Kemivärlden Biotech med Kemisk Tidsskrift*, (2), 21-23.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

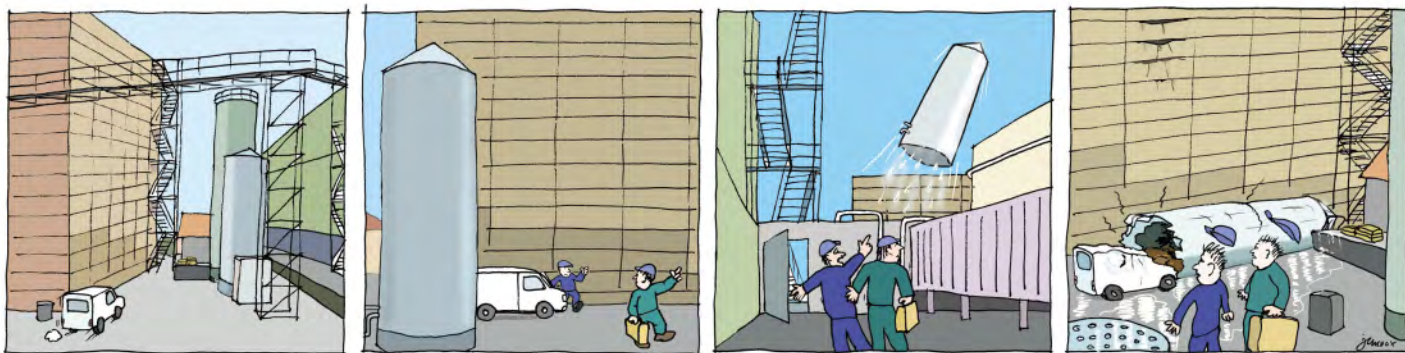


Illustration: Jens Vox.

Två tekniker på grannbyggnadens tak hörde en ihållig duns. De vände sig om och såg en stor tank skjuta lodrätt upp i luften så att botten av den var högre än taket på byggnaden mitt emot. Tanken landade sedan på deras bil som de just hade parkerat.

Blygsamt övertryck fick spektakulära följder

[Av Frank Huess Hedlund, riskexpert vid Cowi och extern lektor i riskhantering, Danmarks tekniska universitet]

För att minska besvärande skumning sattes en tank under "mycket blygsamt" övertryck". Plötsligt brast botten. Tanken for 30 meter upp i luften, föll ned och krossade en varubil. Olyckan visar att en stor gasvolym under lågt tryck innehåller en väsentlig mängd energi.

Vid ölbrygning förökas jästcellmassan mellan tre och sex gånger. Jästen bottenfalls, innan ölet lagras och den överskjutande mängden leds bort som överskottsjäst.

Mängden torrs substans i överskottsjästen är relativt hög och konsistensen är både klibbig och viskös.

Överskottsjäst innehåller mycket protein, aminosyror och vitaminer och är därför lämpligt som foder till enmagade djur, särskilt grisar och kan delvis ersätta soja. Baserat på proteinsammansättning och torrs substans uppskattas att 14 liter överskottsjäst kan ersätta 1 kg sojaskrå.

Överskottsjästen innehåller visserligen 2-3 procent alkohol men enligt uppgift har det endast goda effekter på grisar, som blir lite slöa vilket gör dem stresståligare. Det är positivt i moderna grisstallar [1].

I några rätt anmärkningsvärda danska försök på 1980-talet [2] med utfodring av grisar med överskottsjäst var alkoholintaget inte obetydligt; i runda tal motsvarande en flaska vin per dag. Korregerat för kroppsvikt motsvarar det cirka 2,5 flaskor vin per dag för en 80 kilos person. Här är det säkert en fördel med fyra ben och det är inte helt obegripligt att grisarna oftare lade sig att sova efter maten, jämfört med grisarna i kontrollgruppen, utan överskottsjäst.

Överskottsjäst används inte längre direkt i grisfodret i någon större utsträckning. Istället indunstas den till ett pulver som eventuellt används till proteinpiller. Överskottsjästen var svår att styra. Det var praktiska problem med stora variationer i torrs substanshalt från parti till parti och det kunde uppstå en förlust av torrs substans på hela 30 procent efter bara 14 dagars förvaring

även om överskottsjästen var både pastöriserad och konserverad med propionsyra.

Detta är ett av problemen med överskottsjästen: Det är både ett biologiskt aktivt ämne och ett utmärkt tillväxtmedium för oönskade mikroorganismer. Även om man försöker göra sig av med jästen så snabbt som möjligt kan det uppstå besvärande skumning i tankarna.



Den fyra ton tunga tanken landade ovanpå en liten varubil.

Foto: IW Michaelson.

→ **"Mycket blygsamt övertryck".** Lösningen på problemet är uppenbar: varför inte hindra skumningen genom att sätta restjäst-tanken under ett "mycket blygsamt övertryck", exempelvis 10 kPa (0,1 bar), då bryggeriet redan har ett vitt förgrenat rörsystem med steril tryckluft.

Övertrycket är ju så lågt, sa en produktionschef på ett bryggeri, att det är "nästan ingenting". Sant nog är det ett mycket lågt övertryck. Med lungornas kraft enbart kan män prestera det, dock knappast kvinnor.

Om tanken töms ofta enbart för att undvika önskad tillväxt och skumning så att nivån sällan når över 50 procents fyllning, då kan övertrycksventilen med fördel ställas på 20 kPa, och förbrukningen av steril tryckluft blir mycket låg, till och med noll under långa perioder. 20 kPa är mycket lågt övertryck. I dryckesvaruindustrin hanteras enorma mängder kolsyrehaltiga drycker vid tryck som är minst tio gånger högre. Trycket i en champagneflaska kan vara 500-600 kPa.

Lagkrav. Sett till lagkraven är det inga stora problem med ett blygsamt övertryck i området 10-20 kPa. Det europeiska direktivet för tryckbärande utrustning (PED) träder in först vid övertryck högre än 50 kPa. För att undgå att omfattas av tryckkärlsdirektivet och inte minst dokumentationsbördan som följer av det, är det allmän praxis i industrin att installera en sprängplatta som slutligt övertrycksskydd. Då försäkras man att trycket aldrig stiger över 50 kPa.

En sprängplatta är ett membran som sitter fastspänt mellan två specialflänsar och öppnas (sprängs) vid ett väldefinierat övertryck. I motsats till en säkerhetsventil är sprängplattan inte självstängande och kan bara användas en gång. På grund av sin enkla konstruktion och få komponenter anses sprängplattor ofta vara mer tillförlitliga än säkerhetsventiler.

Det finns flera sprängplattor på marknaden med bryttryck under 50 kPa, med hänsyn till tryckkärlsdirektivet.

System för jästhantering. På ett danskt bryggeri flyttas överskottsjäst från många olika jästankar först till en mindre mellanbehållare inomhus, sedan till en stor ståltank utomhus. Den lilla behållaren är trycksatt till 100 kPa med tryckluft. När mellanbehållaren ska tömmas startar en operatör en sekvens då en ventil i botten öppnas så att tryckluften tvingar jästen ut i den stora tanken. Ventilen stängs när en signal från en nivåmätare indikerar att mellanbehållaren är tom. En tryckreduktionsventil ser till att den stora tanken alltid är trycksatt till minst 10 kPa. När nivån i tanken stiger fungerar vätskan som kolv och komprimerar gasen över vätskan i den stora tanken. En fjäderbelastad ventil öppnas vid 20 kPa.

Beroende på fyllningsgrad svänger driftstrycket i den stora tanken därför mellan 10 och 20 kPa. Tanken är dessutom försedd med en sprängplatta med ett certifierat öppningstryck på 43-49 kPa @ 22°C, vilket säkrar att den stora tanken inte omfattas av tryckkärlsdirektivet.

Olyckan. På olycksdagen hade den stora tanken tömts precis innan och den första satsen överskottsjäst från mellanbehållaren skulle föras över till den stora tanken. Två tekniker från ett externt bolag kom att att serva någon utrustning på taket till en närliggande byggnad. De parkerade sin bil intill den stora tanken.

Kort därefter när de hunnit upp på taket hörde de en ihålig duns eller smäll och vände sig om lagom för att se den stora tanken skjuta lodrätt upp i luften och falla ned igen. De skyndade sig ned från taket för att se vad som hänt och får se att tanken ligger ovanpå bilen de just lämnat.

Den mest sannolika orsaken till olyckan är att nivåmätaren i botten av mellanbehållaren inte fungerade som den skulle, dvs ventilen fick ingen signal att stänga. Därför kunde tryckluft strömma in i den stora tanken.

Nivåmätaren var en vibrationsnivåmätare. Den fungerar genom att en stav eller en gaffel vibrerar med sin egenfrekvens. Eigenfrekvensen beror av om gaffeln sitter fritt eller är täckt av något medium. Nivåmätaren skulle kunna sluta fungera om en klump av särskilt kletig jäst har packats runt sensorn.

Mållösa. De två teknikerna var naturligtvis förstummade över att få se sin bil krossad under en fyra ton tung tank som de just hade lämnat. Hur i all världen kunde det ske? Tankens sprängplatta var intakt och undersökningar visade att den fjäderbelastade ventilen öppnades som den skulle. Tanken hade ju befunnit sig under ett "mycket blygsamt övertryck".

Här har vi kommit fram till en mycket viktig lärdom i händelsen: Övertryck som vi normalt inte bekymrar oss för kan faktiskt frigöra stora energimängder om volymen är tillräckligt stor. Volymen trycksatt gas var stor i den här situationen, bland annat eftersom tanken just hade tömts.

Exergi. Hur mycket energi innehåller en trycksatt gas. (Läsare som är bra på termodynamik kan med fördel hoppa över detta avsnitt.)

Idealgaslagen $PV=nRT$ är välkänd. Högersidan innehåller gaskonstanten R med enheten $J/mol/°K$. Vid multiplicering med antal mol (n) och temperaturen (T) har högersidan enheten energi (Joule). Därför måste produkten av tryck (P) och volymen (V) på vänstersidan också uttrycka en energimängd. Men hela den mängden (inre) energi kan inte omedelbart omsättas till mekanisk energi (arbete), eftersom en trycksatt, expanderande gas också ska lägga energi på att knuffa bort den omgivande atmosfären. Detta uttrycks i begreppet exergi som är den maximala mängden mekanisk energi (arbete) som kan fås ur en expanderande gas som kommer i jämvikt med omgivningens konstanta tryck. Eftersom ett bristande tryckkärl är en snabb händelse kan processen ses som adiabatisk, utan utbyte av värme med omgivningen. Det maximala arbete som den expanderande gasen kan utföra är då givet vid den isotropiska exergin E . Lyckligtvis tillåter utrymmet inte några långa utläggningar men det kan "enkelt" visas [3] att:

$$E = \frac{\gamma}{\gamma-1} p_i V_i \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] - V_i (p_i - p_a)$$

där γ är förhållandet mellan värmekapaciteterna C_p/C_v , som hos luft är 1.4, P tryck, V volym och index i och a (ambient) är start- och sluttillstånden. Samtliga enheter i SI.



Ett av rören till tanken har slitits av.

Energiinnehåll i tryckluft. Det gick att komma i kontakt med en av teknikerna på taket, ett av de två ögonvittnena. Han kom fortfarande ihåg det inträffade tydligt och var säker på att tanken sköt så högt upp i luften att botten kom ovanför taket där de befann sig.

Husen är ca 19 meter högt. Tanken är åtta meter hög och då det hängde några plattor från isoleringskappan på undersidan betyder det att översidan av tanken nått en höjd av ca 30 meter.

Exergibetraktelser [4] visar att det inre övertrycket i tanken därför har varit i storleksordningen 60 kPa. Det kommer möjligen att överraska vissa läsare att ett så blygsamt övertryck kan få en stor tank att bete sig så spektakulärt. I vilket fall överraskade det undertecknad. Här kan det vara lämpligt att understryka vikten av att inte tryckprova utrustning med ett komprimerbart medium. Konsekvenserna kan bli våldsamma. Tryckprovning utförs säkrast med ej komprimerbara medier, till exempel vatten.

Tryckkärilsföreskriften. Tryckkärilsföreskriften som implementerar EUs tryckkärilsdirektiv (PED), omfattar som tidigare nämnts utrustning med tryck över 50 kPa. För att undvika att omfattas av föreskriften är det normal praxis att skydda utrustningen med en sprängplatta som öppnar precis under 50 kPa.

Men som man kan se i tabell 1 kan ett väsentligt lägre tryck än föreskriftens arbiträra tröskelvärde på 50 kPa lyfta tanken till en ansevärd höjd. Om driftstrycket i tanken är väsentligt lägre än 50 kPa är det en säkerhetsmässig fördel att specificera sprängplattans öppningstryck till ett lägre värde, i det här fallet t ex 25 kPa, i stället för att välja standard enligt praxis. På så sätt reduceras den potentiella faran om tanken skulle fallera.

TABELL.
Beräknad lyfthöjd av en tom 90 m³ tank på fyra ton för olika övertryck.

Övertryck	Exergy kan lyfta tankens tyngdpunkt med
10 kPa	0.5 m
20 kPa	2.4 m
30 kPa	5.4 m
40 kPa	9.5 m
50 kPa	15 m
60 kPa	21 m
70 kPa	27 m



Tanken flyttad till uppläggsplats innan den säljs som skrot.

Slutsatser

Händelsen ger flera viktiga lärdomar:

1. Det kan vara nödvändigt att sätta en tank under övertryck av olika skäl, t ex miljökrav, för att installera filter eller annan utrustning för att begränsa utsläpp av VOC (Volatile Organic Compounds), lukt eller annat. Men många befintliga tankar är inte konstruerade för övertryck och det kan på tankens ålder saknas information om dess förmåga att stå emot övertryck. Här bör anvisas viss försiktighet även om övertrycket är "mycket blygsamt".
2. Det bör finnas större kunskap på ledningsnivå om att stora gasvolymmer under "rätt blygsamt övertryck" innehåller en inte oväsentlig mängd energi (egentligen exergi).
3. Välj en sprängplatta med lägsta möjliga öppningstryck, inte en standardsprängplatta enbart för att slippa omfattas av tryckkärilsdirektivet.
4. Systemet som beskrivs i artikeln var helt lagligt och det finns säkert liknande system på andra företag. Det fanns två komponenter som skulle säkra mot övertryck. En driftskomponent i form av en fjäderbelastad ventil och en i form av en sprängplatta. Ventilen visade sig inte ha kapacitet för att klara ett gasgenombrott från mellanbehållaren, vilket naturligtvis var en svaghet i designen. Sprängplattan hade god kapacitet men öppnade inte även om trycket överskred dess brudtryck. Orsak: Den var vänd åt fel håll. Det är så viktig lärdom att den behandlas i en särskild artikel i kommande nummer.

Epilog

Bryggeriet har varit tillmötesgående och bidragit med upplysningar men önskar vara anonymt. Det bör respekteras. Jag tackar dem, min artikel hade inte blivit till utan deras information. Det sker en hel del olyckor som man kan lära sig mycket av, men de kommuniceras sällan till en större krets. Många gånger kommuniceras de inte alls. Här framstår bryggeriet i särklass.

Inlägget är skrivet som frivilligt arbete och jag har inte mottagit något stöd. Jag uttalar mig som privatperson, inte på uppdrag av arbetsgivare eller andra.

E-mail:

Frank Huess Hedlund: fhhe@cowi.dk

Artikeln är tidigare publicerad i Dansk Kemi, nr 4/2016.

<http://ipaper.ipapercms.dk/TechMedia/DanskKemi/2016/4/>

Källor:

1. Huige N.J. *Brewery By-Products and Effluents*. In: Priest and Stewart (eds) *Handbook of brewing*. 2nd ed. Taylor & Francis, 2006.
2. Mortensen HP et al. (1981). *Alternativ fodermidler til svin - 6. gærfløde og fedt sammenlignet med byg og sojaskrå*. Meddelelse nr. 393. Statens Husdyrbrugsforsøg.
3. Kurttila H., *Isentropic Exergy and Pressure of the Shock Wave Caused by the Explosion of a Pressure Vessel*, (PhD thesis), Lappeenranta University of Technology, Finland, 2003.
4. Hedlund FH, Selig RS, Kragh EK. *Large Steel Tank Fails and Rockets to Height of 30 meters - Rupture Disc Installed Incorrectly, Safety and Health at Work* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.shaw.2015.11.004> (Open Access).